

Evaluasi Efektivitas dan Dampak Ruptl 2025-2034 terhadap Implementasi Perencanaan Tarif Bisnis PT PLN

¹Agung Ilham Pratama, ²Eri Prabowo, ³Dhiyat Imtiyaz Yunan

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Elektro, Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi PLN, Indonesia

Email Korespondensi : agung2410035@itpln.ac.id

Received: June 2026; Revised: July 2026; Published: August 2026

Abstrak

Dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2025-2034 menjadi acuan pembangunan infrastruktur kelistrikan nasional, namun keandalan proyeksinya pada tingkat golongan tarif belum banyak diuji. Penelitian ini mengevaluasi proyeksi golongan tarif pelanggan Bisnis (B) pada dokumen tersebut dengan membangun model pembandingan berbasis Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous variables. Data yang digunakan berupa 168 observasi bulanan penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) seluruh Indonesia periode Januari 2012 hingga Desember 2025 beserta enam kandidat variabel eksogen makroekonomi. Seleksi model menggabungkan filter korelasi Pearson, pencarian eksaustif tervalidasi silang atas 3.200 kombinasi orde dan subset eksogen, serta evaluasi multikriteria terhadap tujuh kandidat yang lolos penyaringan. Model final SARIMAX(1,0,0)(1,0,0,12) dengan variabel nilai tukar USD/IDR dan PDB nominal harga berlaku sektor penyediaan akomodasi dan makan minum menghasilkan mean abosolut percentage error (MAPE) 2,65% pada periode uji. Proyeksi 2026 hingga 2034 membentuk tiga skenario dengan pertumbuhan majemuk tahunan 6,24%, 7,30%, dan 8,24%. Seluruh skenario melampaui angka 5,12% yang diproyeksikan dokumen resmi bagi golongan tarif ini, sedangkan dokumen edisi sebelumnya mencatat galat 2,97% hingga 4,98%. Temuan ini mengindikasikan proyeksi resmi berpotensi konservatif.

Kata kunci: SARIMAX, penjualan listrik, golongan tarif Bisnis, variabel eksogen makroekonomi, rencana usaha penyediaan tenaga listrik

Evaluation of the Effectiveness and Impact of the 2025-2034 Electricity Supply Business Plan (RUPTL) on the Implementation of PT PLN

Abstract

The Electricity Supply Business Plan 2025-2034 guides national power infrastructure development, yet the reliability of its projection at the customer tariff level has rarely been tested. This study evaluates the Business (B) tariff projection in that plan by building a comparative model based on Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous variables. The data comprise 168 monthly observations of national Business tariff electricity sales from January 2012 to December 2025 and six candidate macroeconomic exogenous variables. Model selection combines a Pearson correlation filter, an exhaustive cross validated search over 3,200 combinations of model orders and exogenous subsets, and a multicriteria evaluation of seven surviving candidates. The final model SARIMAX(1,0,0)(1,0,0,12) with the USD/IDR exchange rate and the nominal gross domestic product of the accommodation and food service sector yields a mean absolute percentage error (MAPE) of 2.65% on the test period. Projections for 2026 to 2034 form three scenarios with compound annual growth rates of 6.24%, 7.30% and 8.24%. All scenarios exceed the 5.12% projected for this tariff group in the official plan, whose preceding edition recorded errors of 2.97% to 4.98%, indicating that the official projection is likely conservative.

Keywords: SARIMAX, electricity sales, business tariff group, macroeconomic exogenous variables, electricity supply business plan

How to Cite: Pratama, A. I. ., Prabowo, E. ., & Yunan, D. I. (2026). Evaluasi Efektivitas dan Dampak Ruptl 2025-2034 terhadap Implementasi Perencanaan Tarif Bisnis PT PLN. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 6922-6940. <https://journal-center.litpam.com/index.php/jar/article/view/6379>



<https://journal-center.litpam.com/index.php/jar/article/view/6379>

Copyright© 2026, Pratama et al.
This is an open-access article under
the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Golongan tarif pelanggan Bisnis (B) menempati posisi strategis dalam struktur penjualan PT PLN (Persero). Penjualan listrik golongan ini pada tahun 2025 mencapai 61.976,2 GWh atau sekitar 19,5% dari total penjualan nasional yang sebesar 317.326,7 GWh (PT PLN (Persero), 2025). Golongan ini mencakup kegiatan usaha berorientasi laba mulai dari perdagangan dan perkantoran swasta hingga perhotelan serta rumah makan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2024. Penjualannya tumbuh dari 28.410,9 GWh pada 2012 menjadi 61.976,2 GWh pada 2025 dengan satu-satunya kontraksi sebesar 9,1% pada 2020 akibat pandemi COVID-19 dan pemulihan tajam 14,0% pada 2022. Pola tersebut menandakan sensitivitas terhadap siklus ekonomi yang jauh lebih tinggi dibandingkan golongan tarif pelanggan Rumah Tangga (R) yang permintaannya relatif inelastis (Nainggolan, 2022). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa peramalan penjualan listrik golongan Bisnis tidak cukup hanya mempertimbangkan pola historis, tetapi perlu mempertimbangkan perubahan kondisi ekonomi yang memengaruhi aktivitas sektor usaha. Studi peramalan kelistrikan di Indonesia juga menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi, demografi, tarif listrik, dan karakteristik sistem merupakan faktor yang dapat memengaruhi dinamika kebutuhan listrik (Kemala, 2026). Dengan demikian, terdapat kebutuhan metodologis untuk mengembangkan pendekatan peramalan yang mampu mengintegrasikan pola historis penjualan dengan faktor eksternal yang relevan.

Dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik atau RUPTL 2025–2034 memproyeksikan penjualan nasional meningkat dari 306.130 GWh pada 2024 menjadi 510.575 GWh pada 2034 atau tumbuh 5,25% per tahun, dengan penambahan kapasitas pembangkitan 69.512 MW yang 61,2% di antaranya bersumber dari energi baru dan terbarukan. Khusus golongan tarif Bisnis (B), dokumen itu menetapkan pertumbuhan 5,12% per tahun. Proyeksinya disusun melalui aplikasi Simple-E yang bekerja dengan regresi atas data tahunan lalu diinjeksi secara manual untuk mengakomodasi pelanggan besar (PT PLN (Persero) & Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2025). RUPTL merupakan dokumen strategis yang menjadi acuan pengembangan sistem ketenagalistrikan dan memuat proyeksi kebutuhan listrik serta rencana penyediaan infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan tersebut (PT PLN (Persero), 2025; Kementerian ESDM, 2025). Pendekatan tersebut efektif untuk kebutuhan perencanaan agregat, tetapi penggunaan data tahunan berpotensi menghilangkan informasi mengenai pola musiman bulanan dan dinamika jangka pendek penjualan, sementara proyeksi yang bersifat deterministik tidak secara eksplisit memberikan ukuran ketidakpastian atau interval prediksi. Literatur peramalan energi menunjukkan bahwa pemanfaatan data deret waktu dengan frekuensi yang lebih tinggi dapat menangkap komponen tren, musiman, dan autokorelasi yang tidak terlihat pada agregasi tahunan (Alharbi & Csala, 2022; Kemala, 2026). Kondisi tersebut menjadi masalah fundamental dalam mengevaluasi apakah pertumbuhan 5,12% yang ditetapkan RUPTL benar-benar mampu merepresentasikan dinamika penjualan aktual golongan Bisnis.

Model *Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with exogenous variables* atau SARIMAX menawarkan kerangka pembanding yang sesuai karena menyatukan struktur musiman dengan pengaruh variabel makroekonomi dalam satu persamaan yang koefisiennya dapat ditafsirkan secara ekonomi. Elamin & Fukushige (2018)

menunjukkan penambahan variabel interaksi menurunkan galat peramalan permintaan listrik per jam di Jepang hingga 22,2%, sementara Emami Javanmard & Ghaderi (2023) menempatkan SARIMAX sebagai pendekatan paling akurat di antara enam algoritma pada tujuh sektor energi Iran. Alharbi dan Csala (2022) memakai kerangka serupa untuk horizon tiga puluh tahun dan Khuntia dkk. (2016) menegaskan variabel ekonomi sebagai kelompok penentu utama peramalan beban jangka panjang. Di Indonesia, Utama dkk. (2018) memperoleh galat 2,40% pada beban sistem Jawa-Bali, Mado et al. (2023) mencatat sekitar 3,00% pada beban harian satu unit distribusi, dan McNeil et al. (2019) memproyeksikan beban nasional melalui pendekatan *bottom up end use*. Penelitian yang lebih baru di Indonesia juga memperlihatkan bahwa model ARIMAX dengan variabel eksogen dapat digunakan untuk mengakomodasi faktor ekonomi dan menghasilkan proyeksi kebutuhan listrik beserta rentang skenario ketidakpastian (Kemala, 2026). Sementara itu, studi SARIMAX pada konsumsi listrik tingkat pelanggan menunjukkan bahwa variabel eksternal dan faktor musiman dapat digunakan secara bersamaan untuk meningkatkan representasi pola konsumsi (Suhaba, 2026). Temuan-temuan tersebut memperkuat state of the art bahwa model deret waktu dengan variabel eksogen telah berkembang dari pendekatan univariat menuju model yang mampu mengakomodasi faktor eksternal, musiman, serta ketidakpastian peramalan.

Di lingkungan Institut Teknologi PLN, Senen (2020) mengembangkan prakiraan beban sektoral mikroskopis dan Anggaini dkk. (2021) menyeleksi variabel independen proyeksi kebutuhan energi. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan perhatian terhadap pengembangan metode peramalan kebutuhan listrik di lingkungan Indonesia, tetapi objek dan tingkat agregasinya belum secara khusus menjawab kebutuhan evaluasi penjualan golongan tarif Bisnis (B) secara nasional. Gap penelitian terletak pada belum terintegrasinya tiga aspek secara simultan, yaitu penjualan golongan tarif Bisnis (B) nasional, pola musiman bulanan, dan variabel eksogen makroekonomi dalam satu kerangka SARIMAX yang kemudian dibandingkan secara langsung dengan proyeksi resmi RUPTL. Selain itu, penelitian terdahulu mengenai peramalan listrik di Indonesia lebih banyak berfokus pada beban sistem, wilayah distribusi, konsumsi pelanggan tertentu, atau kebutuhan listrik nasional secara agregat (Utama dkk., 2018; Mado et al., 2023; McNeil et al., 2019; Kemala, 2026). Oleh karena itu, masih terdapat ruang penelitian untuk menguji apakah pendekatan berbasis deret waktu bulanan dengan variabel makroekonomi memberikan informasi yang berbeda terhadap proyeksi resmi pada segmen pelanggan Bisnis. Novelty penelitian ini terletak pada pengembangan model SARIMAX untuk memproyeksikan penjualan listrik golongan tarif Bisnis (B) secara agregat nasional dengan memanfaatkan data bulanan dan variabel eksogen makroekonomi, kemudian menggunakan hasil peramalan tersebut sebagai dasar evaluasi kuantitatif terhadap lintasan proyeksi RUPTL 2025–2034 serta menguji ketepatan historis proyeksi RUPTL edisi sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan alternatif model peramalan, tetapi juga menyediakan kerangka empiris untuk menilai konsistensi proyeksi resmi dengan dinamika aktual penjualan listrik golongan Bisnis.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan desain deret waktu (*time series*). Pendekatan ini digunakan untuk menjelaskan hubungan antara penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) sebagai variabel terikat dan variabel makroekonomi sebagai variabel eksogen, sekaligus menghasilkan peramalan berdasarkan pola historis, musiman, dan informasi dari variabel eksternal. Model SARIMAX secara khusus memungkinkan variabel deret waktu dijelaskan melalui komponen autoregresif, *moving average*, diferensiasi, komponen musiman, serta variabel eksogen dalam satu kerangka pemodelan (Hyndman & Athanasopoulos, 2021; Alharbi & Csala, 2022).

Tahap 1. Pengumpulan dan Persiapan Data

Variabel terikat berupa penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) seluruh Indonesia dalam satuan GWh yang bersumber dari publikasi *Statistik PLN* (PT PLN (Persero), 2025), dengan periode Januari 2012 hingga Desember 2025 sebanyak 168 observasi bulanan. Rentang tersebut mencakup lebih dari tiga belas siklus musiman tahunan sehingga menyediakan jumlah pengamatan yang memadai untuk mengidentifikasi pola tren dan musiman dalam data bulanan (Shumway & Stoffer, 2025). Penggunaan data bulanan juga memungkinkan model menangkap dinamika intra-tahun yang dapat hilang apabila data diagregasi dalam frekuensi tahunan.

Enam kandidat variabel eksogen makroekonomi terdiri atas nilai tukar USD/IDR, suku bunga Bank Indonesia, dan inflasi *headline* dari Bank Indonesia serta PDB nominal harga berlaku sektor perdagangan besar dan eceran, sektor transportasi dan pergudangan, dan sektor penyediaan akomodasi dan makan minum dari Badan Pusat Statistik. Pemilihan variabel tersebut didasarkan pada keterkaitannya dengan aktivitas ekonomi yang secara konseptual dapat memengaruhi kebutuhan listrik sektor Bisnis. Literatur peramalan energi menunjukkan bahwa variabel ekonomi dapat memberikan informasi tambahan dalam menjelaskan perubahan kebutuhan atau konsumsi listrik, khususnya ketika model tidak hanya mengandalkan pola historis variabel target (Khuntia dkk., 2016; Elamin & Fukushige, 2018; Alharbi & Csala, 2022).

Ketiga variabel PDB tersedia dalam frekuensi kuartalan sehingga dikonversi menjadi frekuensi bulanan melalui kerangka disagregasi temporal dengan uang beredar sempit M1 sebagai indikator distribusi. Disagregasi temporal digunakan untuk memperoleh data berfrekuensi lebih tinggi dari data berfrekuensi lebih rendah dengan tetap mempertahankan keterkaitan terhadap total pada frekuensi asal (Mosley dkk., 2022). Metode disagregasi temporal dengan indikator berfrekuensi tinggi memungkinkan informasi bulanan dimanfaatkan ketika variabel utama hanya tersedia secara kuartalan atau tahunan. Bobot bulanan ditetapkan sebagai rata-rata proporsi M1 setiap bulan kalender terhadap total tahunannya sepanjang empat belas tahun sehingga jumlah dua belas nilai bulanan hasil konversi tetap identik dengan total tahunan yang dirilis.

Tahap 2. Pembagian Data

Data dibagi menjadi 132 observasi data latih periode Januari 2012 hingga Desember 2022 dan 36 observasi data uji periode Januari 2023 hingga Desember 2025. Data latih digunakan untuk proses identifikasi, seleksi, estimasi, dan validasi model

selama pengembangan model, sedangkan data uji disimpan untuk memberikan evaluasi terhadap kemampuan prediksi pada periode yang tidak digunakan dalam estimasi akhir model. Pemisahan berdasarkan urutan waktu dipertahankan karena observasi masa depan tidak boleh digunakan dalam proses pembentukan model yang akan diuji pada periode tersebut. Pendekatan evaluasi berbasis *time series cross-validation* juga menggunakan prinsip *forecast origin* yang bergerak maju mengikuti urutan waktu (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Tahap 3. Pengujian Stasioneritas dan Identifikasi Diferensiasi

Tahap ketiga dilakukan untuk menentukan kebutuhan diferensiasi nonmusiman dan musiman sebelum estimasi model. Pengujian stasioneritas dilakukan menggunakan Augmented Dickey-Fuller (ADF), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), dan Osborn-Chui-Smith-Birchenhall (OCSB) secara berdampingan. ADF dan KPSS digunakan karena memiliki formulasi hipotesis nol yang berlawanan sehingga dapat memberikan informasi yang saling melengkapi dalam menentukan status stasioneritas deret waktu (Shumway & Stoffer, 2025). Uji OCSB digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan diferensiasi musiman pada data dengan periode musiman tertentu (Osborn et al., 1988).

Untuk data bulanan, periode musiman ditetapkan sebesar $s = 12$. Orde diferensiasi nonmusiman d dan diferensiasi musiman D ditentukan berdasarkan hasil pengujian serta karakteristik deret. Diferensiasi dilakukan secukupnya untuk mencapai stasioneritas karena diferensiasi yang berlebihan dapat menghasilkan struktur autokorelasi yang tidak diperlukan dalam model (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Tahap 4. Seleksi Variabel Eksogen

Setelah struktur dasar deret ditentukan, enam kandidat variabel eksogen diseleksi menggunakan koefisien korelasi Pearson. Variabel dipertimbangkan untuk masuk ke tahap pembentukan subset apabila memiliki nilai korelasi absolut $|r| \geq 0,70$ dan probabilitas $p < 0,05$. Kriteria tersebut digunakan untuk menyaring variabel yang mempunyai hubungan linear kuat dan signifikan secara statistik dengan penjualan listrik sebelum dilakukan estimasi model multivariat. Klasifikasi kekuatan korelasi mengacu pada Schober dkk. (2018).

Variabel yang memenuhi kriteria selanjutnya digunakan untuk membentuk kombinasi subset eksogen. Tahapan ini dilakukan sebelum pencarian orde SARIMAX sehingga proses pencarian model tidak hanya mempertimbangkan struktur autoregresif dan musiman, tetapi juga komposisi variabel eksternal. Penggunaan variabel eksogen dalam SARIMAX memungkinkan pengaruh prediktor eksternal dimasukkan secara eksplisit ke dalam model deret waktu (Alharbi & Csala, 2022). Struktur SARIMAX memang dirancang untuk menerima variabel *exogenous regressors* bersama komponen ARIMA dan musiman.

Tahap 5. Pencarian dan Estimasi Kandidat Model

Tahap kelima merupakan proses pencarian kandidat model SARIMAX. Pencarian dilakukan terhadap kombinasi subset variabel eksogen dan kombinasi orde model yang telah ditentukan. Setiap kandidat dievaluasi menggunakan time-series cross-validation dengan skema expanding window sebanyak sembilan lipatan. Pada skema ini, data pelatihan diperluas secara bertahap sesuai urutan waktu, kemudian

digunakan untuk memprediksi observasi pada periode berikutnya. Pendekatan tersebut mempertahankan struktur temporal data dan menghindari penggunaan informasi masa depan dalam proses validasi.

Kriteria utama pemilihan kandidat pada tahap ini adalah rata-rata MAPE hasil cross-validation terkecil. Pemilihan berdasarkan kesalahan prediksi luar sampel digunakan karena tujuan penelitian adalah menghasilkan model peramalan, bukan semata-mata memperoleh kecocokan terbaik terhadap data yang digunakan dalam estimasi. Evaluasi melalui *time-series cross-validation* memungkinkan kemampuan prediktif model dibandingkan berdasarkan observasi yang tidak digunakan pada masing-masing proses estimasi (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Bentuk umum model SARIMAX yang diestimasi mengikuti Persamaan (1):

$$\Phi(B^s)\phi(B)(1-B)^d(1-B^s)^DY_t = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{k,t} + \Theta(B^s)\theta(B)\varepsilon_t \quad (1)$$

Keterangan:

- Y_t = penjualan listrik golongan Bisnis (B) pada bulan ke- t (GWh);
- $X_{k,t}$ = variabel eksogen ke- k pada bulan ke- t ;
- β_k = koefisien variabel eksogen ke- k ;
- $\phi(B)$ dan $\theta(B)$ = polinomial autoregresif dan *moving average* nonmusiman;
- $\Phi(B^s)$ dan $\Theta(B^s)$ = polinomial autoregresif dan *moving average* musiman;
- $s = 12$ = periode musiman bulanan;
- d dan D = orde diferensiasi nonmusiman dan musiman;
- ε_t = galat model pada bulan ke- t .

Estimasi parameter dilakukan menggunakan maximum likelihood. Dalam implementasi SARIMAX, koefisien regresi variabel eksogen dapat diestimasi sebagai bagian dari parameter likelihood model.

Tahap 6. Diagnostik Model

Tahap keenam dilakukan untuk memastikan bahwa model kandidat yang terbentuk telah memenuhi karakteristik residual yang diperlukan untuk digunakan dalam peramalan. Variance Inflation Factor (VIF) dihitung sebagai informasi diagnostik mengenai potensi multikolinearitas antarvariabel eksogen. VIF tidak digunakan sebagai kriteria pengguguran otomatis karena tujuan utama penelitian adalah peramalan, sedangkan multikolinearitas terutama berkaitan dengan ketidakpresisian estimasi koefisien. Ketentuan ini mengikuti Kim (2019).

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan autokorelasi residual menggunakan prinsip uji Ljung-Box. Kandidat model yang menunjukkan autokorelasi residual pada tahap penyaringan dikeluarkan dari kandidat lanjutan dengan menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Uji Ljung-Box digunakan untuk menguji apakah residual masih mengandung autokorelasi secara keseluruhan; residual model yang baik diharapkan tidak menunjukkan struktur autokorelasi yang tersisa.

Kandidat yang lolos kemudian diestimasi ulang menggunakan seluruh 168 observasi dengan metode *maximum likelihood*. Model hasil estimasi selanjutnya diperiksa menggunakan uji Ljung-Box pada lag 4 dan 8, uji Jarque-Bera, serta uji ARCH-LM pada 12 lag. Penggunaan beberapa uji diagnostik memungkinkan pemeriksaan dilakukan terhadap autokorelasi residual, distribusi residual, dan kemungkinan adanya heteroskedastisitas. Pemeriksaan residual semacam ini

merupakan bagian penting dalam evaluasi model ARIMA/SARIMA sebelum model digunakan untuk menghasilkan peramalan (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Tahap 7. Validasi dan Penetapan Model Final

Tahap ketujuh menetapkan model final berdasarkan evaluasi multikriteria. Kriteria yang digunakan mencakup signifikansi seluruh koefisien eksogen, hasil uji diagnostik residual, akurasi pada data uji, nilai AIC, dan parsimoni orde model. AIC digunakan sebagai ukuran tambahan yang mempertimbangkan keseimbangan antara kecocokan model dan jumlah parameter yang diestimasi; nilai AIC yang lebih rendah menunjukkan trade-off yang lebih baik menurut kriteria tersebut (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Model yang memenuhi kriteria tersebut kemudian dipilih sebagai model final dan diestimasi ulang menggunakan **seluruh 168 observasi**. Estimasi ulang dilakukan agar informasi yang tersedia sampai Desember 2025 dapat dimanfaatkan secara penuh sebelum model digunakan untuk menghasilkan proyeksi periode berikutnya.

Tahap 8. Proyeksi Variabel Eksogen

Karena SARIMAX membutuhkan nilai variabel eksogen pada periode yang akan diramalkan, tahap berikutnya adalah memproyeksikan seluruh variabel eksogen yang terpilih dalam model final. Masing-masing variabel eksogen diproyeksikan secara terpisah menggunakan model SARIMA dengan orde yang dipilih berdasarkan AIC terendah. Penggunaan model SARIMA untuk variabel eksogen memungkinkan lintasan masa depan masing-masing prediktor dibentuk berdasarkan pola historisnya sebelum dimasukkan ke dalam model SARIMAX.

Untuk setiap variabel eksogen, proyeksi dilengkapi dengan batas bawah dan batas atas berdasarkan ketidakpastian hasil peramalan. Selanjutnya, lintasan variabel eksogen tersebut digunakan sebagai input ke model SARIMAX final. Hal ini penting karena dalam peramalan jangka panjang dengan variabel eksogen, nilai prediktor masa depan harus tersedia atau diproyeksikan terlebih dahulu agar model utama dapat menghasilkan prediksi target.

Tahap 9. Peramalan Penjualan Listrik 108 Bulan

Model SARIMAX final kemudian digunakan untuk menghasilkan proyeksi penjualan listrik golongan Bisnis (B) selama 108 bulan, yaitu periode Januari 2026 hingga Desember 2034. Proyeksi dibentuk melalui tiga skenario, yaitu Low, Base, dan High, yang berasal dari variasi lintasan variabel eksogen hasil proyeksi.

Selain nilai titik (*point forecast*), penelitian menghitung prediction interval 95% untuk menggambarkan ketidakpastian prediksi variabel terikat. Interval prediksi dibedakan dari pita ketidakpastian variabel eksogen karena interval prediksi SARIMAX mencerminkan ketidakpastian terhadap hasil prediksi penjualan berdasarkan struktur galat model. Hasil proyeksi kemudian diringkaskan dalam bentuk pertumbuhan majemuk tahunan (*compound annual growth rate/CAGR*) untuk setiap skenario sepanjang periode proyeksi.

Tahap 10. Evaluasi terhadap RUPTL 2025–2034

Tahap terakhir adalah membandingkan hasil proyeksi SARIMAX dengan proyeksi penjualan golongan tarif Bisnis (B) dalam RUPTL 2025–2034. Perbandingan dilakukan terhadap lintasan pertumbuhan dan tingkat penjualan yang diproyeksikan

sehingga dapat diketahui bagaimana hasil model statistik berbasis data bulanan dibandingkan dengan proyeksi resmi.

Selain perbandingan proyeksi periode 2025–2034, penelitian juga melakukan evaluasi akurasi historis proyeksi RUPTL edisi sebelumnya. Evaluasi tersebut dilakukan dengan membandingkan nilai proyeksi yang tersedia pada RUPTL sebelumnya dengan realisasi penjualan listrik golongan Bisnis pada periode yang bersesuaian. Dengan demikian, penelitian tidak hanya menghasilkan alternatif proyeksi berbasis SARIMAX, tetapi juga menyediakan evaluasi empiris terhadap kemampuan proyeksi resmi dalam merepresentasikan perkembangan aktual penjualan golongan Bisnis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Penjualan Listrik Golongan Tarif Pelanggan Bisnis (B)

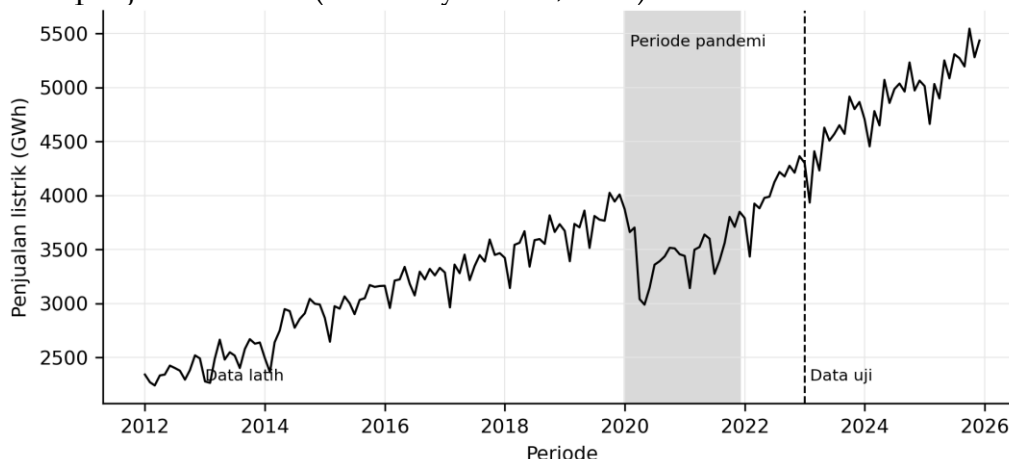
Penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) sepanjang 168 bulan pengamatan memiliki rata-rata 3.582,4 GWh per bulan dengan standar deviasi 833,4 GWh serta rentang dari 2.239,9 GWh pada Maret 2012 hingga 5.545,0 GWh pada Oktober 2025 sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Nilai *skewness* 0,480 menunjukkan distribusi yang sedikit condong ke kanan sedangkan kurtosis $-0,553$ menandakan bentuk yang lebih datar dibandingkan distribusi normal. Rata-rata bulanan tumbuh dari 2.367,6 GWh pada 2012 menjadi 5.164,7 GWh pada 2025 dengan pertumbuhan majemuk tahunan 6,18% dan rata-rata pertumbuhan tahunan 6,3%. Pertumbuhan itu terbagi dalam tiga fase yaitu ekspansi stabil pada 2012 hingga 2016, perlambatan yang diperberat pandemi pada 2017 hingga 2021, dan akselerasi tertinggi pada 2022 hingga 2025. Kecepatan tersebut jauh melampaui elastisitas pendapatan permintaan listrik rumah tangga Indonesia yang inelastis pada angka 0,3 (Nainggolan, 2022) sehingga penjualan golongan ini lebih tepat dipahami sebagai cerminan langsung ekspansi ekonomi riil sektor jasa dan perdagangan, sejalan dengan Akbar dkk. (2024).

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian Periode Januari 2012 sampai Desember 2025

Variabel	Rata-Rata	Std. Deviasi	Minimum	Maksimum	Skewness	Kurtosis
Penjualan listrik Bisnis (B) (GWh)	3.582,4	833,4	2.239,9	5.545,0	0,480	$-0,553$
Nilai tukar USD/IDR (Rupiah)	13.711,7	1.945,8	9.000,0	16.787,0	$-0,812$	0,122
Suku bunga Bank Indonesia (persen)	5,5	1,3	3,5	7,8	0,040	$-0,863$
Inflasi <i>headline</i> (persen)	3,8	1,9	$-0,1$	8,8	0,828	0,158
PDB nominal harga berlaku sektor perdagangan besar dan eceran (miliar Rp)	167.805,5	50.206,1	88.270,2	284.137,3	0,399	$-0,830$
PDB nominal harga berlaku sektor transportasi dan pergudangan (miliar Rp)	66.914,9	28.496,9	24.280,0	132.824,8	0,571	$-0,580$
PDB nominal harga berlaku sektor akomodasi dan makan minum (miliar Rp)	34.732,9	8.948,0	19.585,8	57.889,6	0,588	$-0,269$

Sumber: Pengolahan peneliti (2026)

Dekomposisi multiplikatif berperiode dua belas bulan memperlihatkan komponen musiman yang bergerak antara 92,5% pada Februari hingga 104,3% pada Oktober terhadap nilai tren bulan bersangkutan. Rata-rata penjualan terendah tercatat pada Februari sebesar 3.234,2 GWh dan tertinggi pada Oktober sebesar 3.807,1 GWh sehingga selisih 572,9 GWh setara 16,0% dari rata-rata keseluruhan. Amplitudo sebesar itu tergolong besar untuk golongan tarif non residensial. Februari merupakan bulan terpendek dan berada tepat setelah libur akhir tahun sedangkan Oktober berada pada kuartal keempat ketika pelaku usaha mengejar target tahunan. Gangguan struktural terbesar berasal dari pandemi ketika penjualan turun dari 3.702,6 GWh menjadi 2.988,3 GWh pada Mei 2020 atau merosot 19,0% dalam dua bulan, jauh di bawah rata-rata pra pandemi 2018 hingga 2019 yang sebesar 3.649,5 GWh. Pemulihan baru menyeluruh pada 2022 ketika rata-rata bulanan mencapai 4.030,1 GWh sehingga total durasi dampak tercatat dua puluh empat bulan. Guncangan sebesar itu lazim meninggalkan jejak pada distribusi residual model peramalan penjualan listrik (Bahmanyar dkk., 2020).



Gambar 1. Data Historis Penjualan Listrik Golongan Tarif Pelanggan Bisnis (B) Januari 2012 sampai Desember 2025

Sumber: PT PLN (Persero), diolah (2026)

Seleksi Variabel Eksogen dan Pencarian Kombinasi Model

Penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) tidak stasioner pada data *level* dengan probabilitas uji Augmented Dickey-Fuller 0,980 dan menjadi stasioner setelah diferensiasi pertama dengan probabilitas 0,029. Uji Osborn-Chui-Smith-Birchenhall merekomendasikan orde diferensiasi musiman nol sehingga pola musiman yang tampak jelas bersifat deterministik dan cukup ditangkap komponen *autoregressive* musiman. Keenam kandidat variabel eksogen juga seluruhnya diklasifikasikan sebagai I(1). Hasil penyaringan korelasi Pearson pada Tabel 2 menggugurkan dua kandidat. Suku bunga Bank Indonesia hanya mencatat nilai absolut koefisien korelasi 0,251 dan inflasi headline mencapai 0,544 sehingga keduanya berada di bawah ambang 0,70 meskipun signifikan secara statistik. Hubungan kedua variabel itu dengan penjualan listrik kemungkinan bersifat nonlinear atau dimediasi variabel perantara yang tidak tertangkap korelasi bivariat sederhana. Empat kandidat lain lolos dengan koefisien 0,880 bagi nilai tukar USD/IDR serta 0,972 hingga 0,982 bagi ketiga variabel PDB sektoral.

Tabel 2. Hasil Penyaringan Korelasi Pearson Kandidat Variabel Eksogen Makroekonomi

No	Variabel Eksogen	r	r	Nilai p	Status
1	Nilai tukar USD/IDR	0,880	0,880	< 0,001	Lolos
2	Suku bunga Bank Indonesia	-0,251	0,251	0,001	Tidak lolos
3	Inflasi <i>headline</i>	-0,544	0,544	< 0,001	Tidak lolos
4	PDB nominal harga berlaku sektor perdagangan besar dan eceran	0,972	0,972	< 0,001	Lolos
5	PDB nominal harga berlaku sektor transportasi dan pergudangan	0,981	0,981	< 0,001	Lolos
6	PDB nominal harga berlaku sektor akomodasi dan makan minum	0,982	0,982	< 0,001	Lolos

Sumber: Pengolahan peneliti (2026)

Pencarian eksaustif atas 3.200 kombinasi menghasilkan galat validasi silang antara 3,26% hingga 6,14%. Subset tanpa variabel eksogen mencatat galat validasi silang 5,68% dan galat periode uji 9,06% sehingga kontribusi variabel eksogen sudah terlihat sejak tahap ini. Seluruh enam belas kandidat lolos pemeriksaan multikolinearitas karena pemeriksaan itu diposisikan sebagai informasi diagnostik pelengkap, meskipun kandidat dengan tiga hingga empat variabel eksogen sekaligus mencatat nilai di atas delapan ratus. Gerbang yang benar-benar menyaring adalah pemeriksaan autokorelasi residual yang hanya meloloskan tujuh dari enam belas kandidat. Kombinasi yang menyertakan PDB nominal harga berlaku sektor perdagangan besar dan eceran maupun PDB nominal harga berlaku sektor transportasi dan pergudangan konsisten gagal pada gerbang itu karena korelasi antarsesama variabel PDB sektoral berada pada kisaran 0,975 hingga 0,992 sehingga kontribusinya saling tumpang tindih dan menghasilkan struktur model yang tidak stabil. Kondisi ini menegaskan bahwa kekuatan korelasi individual sebuah variabel tidak menjamin kontribusi unik variabel tersebut ketika digabungkan bersama variabel lain.

Penetapan Model Final dan Diagnostik Residual

Hasil evaluasi multikriteria atas ketujuh kandidat disajikan pada Tabel 3. Kandidat peringkat pertama merupakan satu-satunya kandidat yang lolos uji Ljung-Box sekaligus mempertahankan signifikansi seluruh koefisien eksogennya setelah estimasi penuh. Kedua syarat itu memperoleh prioritas tertinggi sebelum besaran galat dan kriteria informasi dipertimbangkan. Kandidat peringkat kedua justru mencatat kriteria informasi terendah yaitu 1.810,02 namun koefisien nilai tukar USD/IDR kehilangan signifikansinya dengan probabilitas 0,144. Kandidat peringkat ketujuh bahkan mencatat galat periode uji terendah sebesar 1,71% meskipun koefisien eksogen tunggalnya sama sekali tidak signifikan sehingga kehilangan justifikasi ekonometrik untuk menyertakan variabel makroekonomi. Empat kandidat sisanya tersingkir karena gagal uji Ljung-Box. Model final karena itu ditetapkan sebagai SARIMAX(1,0,0)(1,0,0,12) dengan variabel eksogen nilai tukar USD/IDR dan PDB nominal harga berlaku sektor penyediaan akomodasi dan makan minum, sebagaimana Persamaan (2). Penetapan ini menunjukkan model yang dipilih bukan kandidat dengan akurasi tertinggi maupun kriteria informasi terendah melainkan kandidat yang paling utuh memenuhi syarat kelayakan statistik.

Tabel 3. Evaluasi Multikriteria Ketujuh Kandidat Model

Peringk at	Subset Eksogen	Eksogen Signifika n	Ljun g-Box	Jarqu e-Bera	ARC H-LM	MAP E Uji (%)	AIC	Keputus an
1	USD dan PDB akomodasi	Ya	Lolos	Tidak lolos	Tidak lolos	2,65	1.958,8 8	Model final
2	USD dan PDB perdaganga n	Tidak (nilai p USD 0,144)	Lolos	Tidak lolos	Lolos	1,95	1.810,0 2	Gugur
3	PDB perdaganga n dan transportasi	Tidak (nilai p 0,087)	Tidak lolos	Tidak lolos	Lolos	2,64	2.142,8 4	Gugur
4	PDB perdaganga n, transportasi , dan akomodasi	Tidak (nilai p 0,984)	Tidak lolos	Tidak lolos	Tidak lolos	2,45	1.999,1 9	Gugur
5	USD, PDB perdaganga n, dan transportasi	Tidak (nilai p USD 0,299)	Tidak lolos	Tidak lolos	Lolos	2,83	2.126,7 5	Gugur
6	USD, PDB perdaganga n, dan akomodasi	Tidak (nilai p 0,734)	Tidak lolos	Tidak lolos	Tidak lolos	2,37	1.985,8 0	Gugur
7	USD	Tidak (nilai p USD 0,860)	Lolos	Tidak lolos	Tidak lolos	1,71	1.966,6 1	Gugur

Sumber: Pengolahan peneliti (2026). USD menyatakan nilai tukar USD terhadap Rupiah dan PDB menyatakan produk domestik bruto nominal harga berlaku sektoral

$$Y_t = 0,0457 \text{ USD}_t + 0,0835 \text{ PDBAkomp}_t + 0,5244 Y_{t-1} + 0,6600 Y_{t-12} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Di mana:

USD_t = nilai tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika Serikat bulan ke-t

PDBAkomp_t = PDB nominal sektor penyediaan akomodasi dan makan minum bulan ke-t (miliar Rupiah)

Y_{t-1}, Y_{t-12} = penjualan listrik satu bulan dan dua belas bulan sebelumnya

Keempat koefisien pada Persamaan (2) bertanda positif dan signifikan pada taraf lima persen sebagaimana dirangkum pada Tabel 4. Koefisien autoregressive musiman 0,6600 lebih besar dibandingkan koefisien non musiman 0,5244 sehingga pola musiman bulanan berkontribusi lebih besar daripada inersia satu bulan sebelumnya. Uji Ljung-Box terpenuhi pada kedua rentang lag dengan probabilitas 0,2074 dan 0,1567 yang menandakan komponen autoregressive sudah cukup menyerap

informasi temporal yang dapat diprediksi. Uji Jarque-Bera tidak terpenuhi dengan statistik 41,30 dan kurtosis 5,535 sehingga distribusi residual berekor lebih tebal dibandingkan distribusi normal, namun penyimpangan itu tergolong ringan dibandingkan kandidat peringkat ketujuh yang mencatat 14.609,34. Uji ARCH-LM juga tidak terpenuhi dengan statistik 37,87 dan probabilitas 0,0002 sehingga galat baku koefisien berpotensi diestimasi terlalu rendah atau terlalu tinggi meskipun titik estimasinya tetap konsisten dan tidak bias. Kegagalan kedua asumsi ini tidak membatalkan keandalan model karena estimasi *maximum likelihood* tetap konsisten secara asimtotik pada ukuran sampel 168 observasi (Shumway & Stoffer, 2025). Nilai *variance inflation factor* model final sebesar 49,67 juga jauh lebih rendah dibandingkan kandidat bervariasi banyak meskipun masih di atas ambang klasik sekitar sepuluh, dan kedua koefisien eksogennya tetap signifikan sehingga presisi estimasi tidak terganggu secara materiil (Kim, 2019).

Tabel 4. Hasil Estimasi Parameter dan Uji Diagnostik Residual Model Final

Parameter atau Uji Diagnostik	Nilai	Nilai p	Kesimpulan
Nilai tukar USD/IDR	0,0457	0,001	Signifikan
PDB akomodasi dan makan minum	0,0835	< 0,001	Signifikan
Autoregressive non musiman AR(1)	0,5244	< 0,05	Signifikan
Autoregressive musiman SAR(12)	0,6600	< 0,05	Signifikan
Akaike Information Criterion (AIC)	1.958,88	—	—
Bayesian Information Criterion (BIC)	1.974,10	—	—
Uji Ljung-Box lag 4	—	0,2074	Lolos
Uji Ljung-Box lag 8	—	0,1567	Lolos
Uji Jarque-Bera	41,30	< 0,001	Tidak lolos
Uji ARCH-LM lag 12	37,87	0,0002	Tidak lolos
Variance inflation factor (CIF)	49,67	—	Diagnostik pelengkap

Sumber: Pengolahan peneliti (2026). Estimasi dilakukan pada seluruh 168 observasi

Pengaruh Variabel Eksogen dan Akurasi Model

Koefisien nilai tukar USD/IDR sebesar 0,0457 dengan probabilitas 0,001 berarti setiap pelemahan Rupiah sebesar Rp1.000 terhadap Dollar Amerika Serikat berasosiasi dengan kenaikan penjualan sebesar 45,7 GWh secara nasional. Arah positif ini konsisten dengan mekanisme daya saing ekspor sebab pelemahan mata uang domestik memperbaiki harga relatif produk domestik di pasar global (Thorbecke, 2021). Pada rentang pergerakan Rp9.000,0 hingga Rp16.787,0 sepanjang periode pengamatan, selisih Rp7.787,0 tersebut setara potensi variasi penjualan 355,8 GWh atau 9,9% dari rata-rata bulanan. Interpretasi ini tetap perlu dilakukan secara hati-hati karena tren pelemahan Rupiah berjalan searah dengan tren pertumbuhan ekonomi nasional sehingga sebagian hubungan positif yang teridentifikasi kemungkinan mencerminkan *co-movement* jangka panjang dan bukan semata hubungan kausal jangka pendek, sejalan dengan Tasia Sapta dkk. (2024) yang menekankan sifat multidimensi determinan permintaan listrik sektor komersial.

Koefisien PDB nominal sektor penyediaan akomodasi dan makan minum sebesar 0,0835 merupakan yang terbesar di antara seluruh parameter sehingga setiap kenaikan satu triliun rupiah PDB sektor itu berasosiasi dengan tambahan penjualan 83,5 GWh. Besaran tersebut sejalan dengan profil pelanggan golongan tarif Bisnis (B) yang di dalamnya usaha hotel, restoran, kafe, dan katering menjadi kelompok pengguna dominan. Pablo-Romero dkk. (2017) menemukan hubungan yang

meningkat secara konsisten antara konsumsi listrik sektor hotel dan restoran dengan jumlah malam menginap wisatawan pada sebelas negara Uni Eropa. Perbandingan skala kedua variabel dapat dipertajam melalui elastisitas titik yang menghasilkan 0,17 bagi nilai tukar dan 0,81 bagi PDB sektor tersebut. Kedua angka itu melampaui elastisitas pendapatan permintaan listrik rumah tangga sebesar 0,3 (Nainggolan, 2022) dan konsisten dengan temuan Al Irsyad dkk. (2018) mengenai pendorong permintaan listrik sektoral di Indonesia.

Model final mencatat MAPE 2,65% pada periode uji dengan akar rata-rata galat kuadrat 152,60 GWh dan galat absolut rata-rata 129,69 GWh. Angka itu berada jauh di bawah ambang 10% sehingga tergolong kategori akurasi tertinggi (Hyndman & Athanasopoulos, 2021). Capaian tersebut sepadan dengan penelitian terdahulu pada data ketenagalistrikan PT PLN (Persero) yang mencatat 2,40% (Hutama dkk., 2018) dan 3,00% (Mado et al., 2023), padahal cakupan data penelitian ini bersifat nasional dan agregat sehingga satu model tunggal harus menangkap variasi pola dari berbagai wilayah dengan struktur ekonomi yang tidak seragam.

Proyeksi 2026 sampai 2034 dan Evaluasi Proyeksi RUPTL

Kedua variabel eksogen model final diproyeksikan lebih dahulu dan keduanya mengikuti orde SARIMA(0,1,6)(1,1,2,12) dengan galat validasi 2,43% bagi nilai tukar dan 0,52% bagi PDB sektor penyediaan akomodasi dan makan minum. Lebar pita satu standar deviasi nilai tukar mencapai 10,61% dari titik proyeksi sedangkan PDB sektor tersebut hanya 7,40%, mencerminkan nilai tukar yang secara historis lebih peka terhadap guncangan ekonomi global. Hasil proyeksi penjualan tiga skenario disajikan pada Tabel 5. Skenario Base memproyeksikan penjualan tumbuh dari 67.378,0 GWh pada 2026 menjadi 118.400,5 GWh pada 2034 atau meningkat lebih dari 75%. Rentang antarskenario melebar dari 65.450,6 GWh sampai 69.305,5 GWh pada 2026 menjadi 106.184,5 GWh sampai 130.616,4 GWh pada 2034 dengan pertumbuhan majemuk tahunan 6,24%, 7,30%, dan 8,24%. Pendekatan skenario semacam ini lazim pada peramalan beban jangka panjang karena menyajikan rentang hasil tanpa memaksakan satu titik prediksi tunggal, meskipun memiliki keterbatasan dalam menangkap saling ketergantungan antarvariabel sosial ekonomi (Aditya dkk., 2025). *Prediction interval* 95% yang bersumber murni dari galat model berkisar 63.847,0 GWh sampai 70.909,1 GWh pada 2026 dan 113.620,1 GWh sampai 123.180,8 GWh pada 2034 sehingga proporsinya jauh lebih sempit dibandingkan rentang skenario. Perbandingan ini menegaskan mayoritas ketidakpastian proyeksi jangka panjang bersumber dari variabel eksogen dan bukan dari galat model.

Tabel 5. Proyeksi Tahunan Penjualan Listrik Golongan Tarif Pelanggan Bisnis (B) Tiga Skenario 2026 sampai 2034 (GWh)

Tahun	Skenario Low	Skenario Base	Skenario High
2026	65.450,6	67.378,0	69.305,5
2028	73.325,4	78.387,0	83.448,7
2030	82.825,7	90.453,0	98.080,2
2032	93.804,3	103.774,4	113.744,6
2034	106.184,5	118.400,5	130.616,4
Total kumulatif 2026 sampai 2034	756.605,1	823.323,6	890.042,1
CAGR 2026 sampai 2034	6,24%	7,30%	8,24%

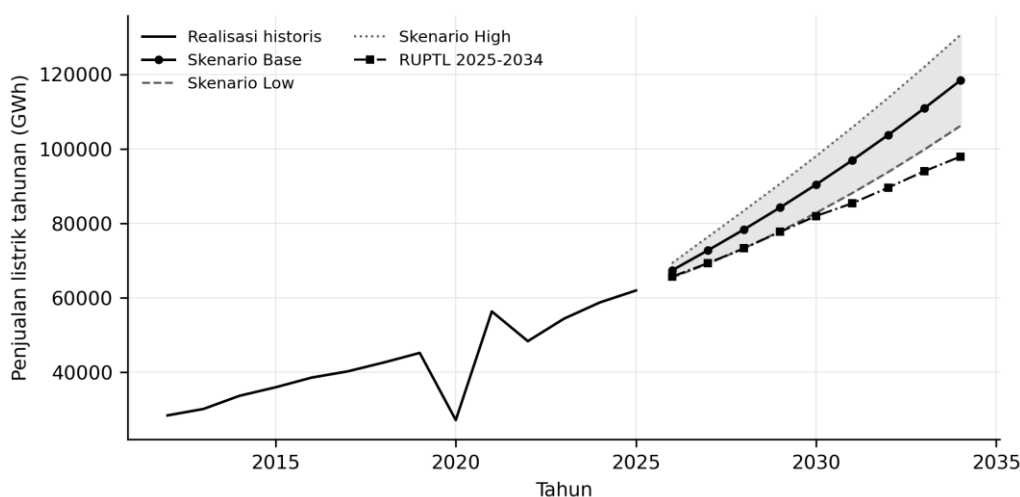
Sumber: Pengolahan peneliti (2026)

Perbandingan lintasan proyeksi terhadap RUPTL 2025-2034 disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 2. Dokumen perencanaan memproyeksikan golongan tarif pelanggan Bisnis (B) tumbuh dari 65.690 GWh pada 2026 menjadi 97.943 GWh pada 2034 atau setara 5,12% per tahun (PT PLN (Persero) & Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2025). Angka itu berada di bawah ketiga skenario dengan selisih 1,12 poin persentase pada skenario *Low* sampai 3,12 poin persentase pada skenario *High*. Temuan paling menarik terletak pada titik awal horizon karena skenario *Low* pada 2026 sebesar 65.450,6 GWh hanya berselisih 0,36% dari angka RUPTL. Kedekatan itu menunjukkan model penelitian ini berangkat dari basis yang hampir identik dengan perencanaan resmi sehingga perbedaan pada tahun berikutnya bersumber dari laju pertumbuhan yang diasumsikan dan bukan dari perbedaan basis data. Selisih terhadap skenario *Base* melebar secara progresif dari 1.688,0 GWh pada 2026 menjadi 20.457,5 GWh pada 2034 sebagai konsekuensi akumulasi delapan tahun perbedaan laju.

Tabel 6. Perbandingan Proyeksi Model Final dengan RUPTL PT PLN (Persero) 2025-2034 (GWh)

Tahun	Skenario Low	Skenario Base	Skenario High	RUPTL 2025-2034
2026	65.450,6	67.378,0	69.305,5	65.690
2028	73.325,4	78.387,0	83.448,7	73.318
2030	82.825,7	90.453,0	98.080,2	81.998
2032	93.804,3	103.774,4	113.744,6	89.623
2034	106.184,5	118.400,5	130.616,4	97.943
CAGR 2026 sampai 2034	6,24%	7,30%	8,24%	5,12%

Sumber: (PT PLN (Persero) & Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2025) dan pengolahan peneliti (2026)



Gambar 2. Lintasan Proyeksi Tiga Skenario Dibandingkan RUPTL PT PLN (Persero) 2025-2034

Sumber: (PT PLN (Persero) & Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2025)

Ketepatan kedua pendekatan dapat dinilai dengan menguji proyeksi RUPTL edisi sebelumnya terhadap realisasi yang sudah tersedia. Dokumen RUPTL 2021-2030 memuat dua skenario bagi golongan tarif ini dengan skenario Moderat dinyatakan sebagai yang paling mungkin terjadi (PT PLN (Persero), 2021). Sepanjang empat tahun pertama horizonnya skenario Moderat mencatat MAPE 4,98% dan skenario

Optimis mencatat 2,97%, sedangkan model final penelitian ini mencatat 2,65% sehingga akurasi lebih baik dibandingkan keduanya pada golongan tarif yang sama. Simpangan terbesar skenario Moderat terjadi pada 2023 sebesar 8,00% ketika realisasi jauh melampaui perkiraan. Pola simpangan yang cenderung terlalu rendah konsisten dengan konteks penyusunan dokumen tersebut pada masa pandemi ketika sektor bisnis diperkirakan menjadi sektor dengan pemulihan paling lama (PT PLN (Persero) & Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2025). Pemulihan yang berlangsung lebih cepat membuat proyeksi berbasis asumsi itu menjadi konservatif. Temuan ini memperkuat argumen bahwa pita ketidakpastian yang diturunkan dari galat statistik model memiliki keunggulan dibandingkan skenario berbasis penilaian kecepatan pemulihan sektor, sebab lebarnya tidak bergantung pada asumsi yang sulit diverifikasi. Porsi golongan ini terhadap total penjualan nasional pada proyeksi RUPTL sendiri meningkat dari 18,9% pada 2025 menjadi 19,2% pada 2034 sehingga golongan ini memang diproyeksikan tumbuh lebih cepat dibandingkan rata-rata seluruh golongan tarif.

Implikasi dan Keterbatasan

Skenario Base memproyeksikan penambahan penjualan rata-rata 6.377,8 GWh per tahun yang perlu diterjemahkan menjadi kebutuhan kapasitas pembangkitan dan penguatan jaringan distribusi, terutama pada wilayah dengan konsentrasi pelanggan Bisnis (B) tinggi mengingat karakteristik pertumbuhan beban dapat berbeda antarwilayah bahkan pada satu area pelayanan yang sama (Senen, 2020). Perencanaan juga perlu memperhitungkan beban Oktober yang secara konsisten 16,0% lebih tinggi dibandingkan rata-rata bulanan, sebuah informasi yang hilang pada agregasi tahunan. Pita ketidakpastian yang melebar dari 3.855,0 GWh pada 2026 menjadi 24.431,9 GWh pada 2034 mengindikasikan perlunya investasi yang strategis dan bertahap, sejalan dengan Giannelos dkk. (2024). Pada tataran kebijakan, pertumbuhan golongan ini yang melampaui rata-rata nasional menuntut agar pemenuhan tambahan permintaannya turut diarahkan pada sumber terbarukan supaya komposisi bauran 34,3% pada 2034 tidak tergerus. Pengarahan itu berdasar empiris karena bauran energi pembangkitan berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dan arus penanaman modal asing (Adi dkk., 2023), sementara efisiensi penyediaan tetap menuntut perhatian sebab peremajaan pembangkit tua melalui *repowering* mampu menurunkan biaya pokok penyediaan tenaga listrik (Prabowo dkk., 2019). Keterkaitan erat dengan sektor pariwisata menuntut koordinasi lintas kementerian sekaligus perhatian pada sisi permintaan dan kepuasan pelanggan (Ahsan dkk., 2024).

Lima keterbatasan perlu dicatat. Pertama, model SARIMAX mengasumsikan hubungan antara variabel eksogen dan penjualan listrik bersifat linear dan konstan sepanjang periode estimasi (Hyndman & Athanasopoulos, 2021). Kedua, horizon proyeksi sembilan tahun tergolong panjang dibandingkan sebelas tahun data latih meskipun sudah dimitigasi melalui pita satu standar deviasi dan *prediction interval* 95%. Ketiga, guncangan yang belum pernah terekam pada data latih tidak dapat diproyeksikan model deret waktu manapun dan pengalaman pandemi membuktikan guncangan semacam itu menurunkan akurasi model (Abulibdeh dkk., 2022). Keempat, faktor struktural seperti elektrifikasi kendaraan pada sektor bisnis (Domarchi & Cherchi, 2023) dan penerapan standar efisiensi energi bangunan komersial (McNeil et al., 2019) belum terwakili sehingga pergeserannya berada di luar

cakupan pita skenario. Kelima, eksplorasi variabel eksogen terbatas pada empat variabel yang lolos penyaringan korelasi, padahal proyeksi energi yang melibatkan lebih banyak variabel independen berpeluang lebih akurat (Anggaini dkk., 2021). Kelima keterbatasan itu melekat pada pendekatan pemodelan deret waktu secara umum.

KESIMPULAN

Penjualan listrik golongan tarif pelanggan Bisnis (B) di Indonesia tumbuh konsisten sepanjang Januari 2012 hingga Desember 2025 dengan pertumbuhan majemuk tahunan 6,18% serta pola musiman persisten yang menempatkan Februari sebagai bulan terendah dan Oktober sebagai bulan tertinggi pada selisih 16,0% dari rata-rata bulanan. Dari enam kandidat variabel eksogen makroekonomi, hanya nilai tukar USD/IDR dan PDB nominal sektor penyediaan akomodasi dan makan minum yang terbukti berpengaruh signifikan pada model final, dengan variabel kedua jauh lebih dominan pada elastisitas titik 0,81 dibandingkan 0,17.

Model final SARIMAX(1,0,0)(1,0,0,12) bukan kandidat dengan galat terkecil maupun kriteria informasi terendah di antara tujuh kandidat, melainkan satu-satunya yang secara bersamaan lolos uji independensi residual dan mempertahankan signifikansi seluruh koefisien eksogennya. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan model deret waktu sebaiknya mempertimbangkan kombinasi kriteria kelayakan statistik dan bukan satu ukuran akurasi tunggal. Akurasinya sebesar 2,65% pada periode uji tergolong sangat baik dan melampaui kedua skenario proyeksi golongan tarif Bisnis (B) pada RUPTL 2021-2030 yang mencatat 4,98% dan 2,97%.

Proyeksi 2026 hingga 2034 menghasilkan tiga skenario dengan pertumbuhan majemuk tahunan 6,24%, 7,30%, dan 8,24% serta total penjualan 2034 berkisar 106.184,5 GWh sampai 130.616,4 GWh. Seluruh skenario melampaui proyeksi RUPTL 2025-2034 yang sebesar 5,12% per tahun, sementara titik awal skenario Low pada 2026 hanya berselisih 0,36% dari dokumen tersebut. Kombinasi kedekatan titik awal dengan divergensi laju pertumbuhan mengindikasikan proyeksi resmi berpotensi konservatif bagi golongan tarif ini. PT PLN (Persero) disarankan menjadikan skenario Base sebagai acuan utama perencanaan dengan skenario Low dan High sebagai batas kewaspadaan, serta memutakhirkan proyeksi secara berkala berbasis data bulanan. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas cakupan variabel eksogen, menguji pendekatan nonlinear sebagai pembanding, dan melakukan disagregasi proyeksi ke tingkat wilayah.

REFERENSI

- Abulibdeh, A., Zaidan, E., & Jabbar, R. (2022). The impact of COVID-19 pandemic on electricity consumption and electricity demand forecasting accuracy: Empirical evidence from the state of Qatar. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100980. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100980>
- Adi, T. W., Pawenary, P., & Prabowo, E. (2023). Nuclear energy generation, fossil fuel price, energy mix generation, economic growth, FDI inflow and CO2 emission: A case study on developed and developing countries in the Asia Pacific region. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(5), 144–156. <https://doi.org/10.32479/ijep.14525>

- Aditya, T., Jaipuria, S., & Dadabada, P. K. (2025). A review of methods for long-term electric load forecasting. *Journal of Forecasting*, 44(4), 1403–1423. <https://doi.org/10.1002/for.3248>
- Ahsan, M., Assagaf, A., & Prabowo, E. (2024). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kepuasan pelanggan dan keputusan pembelian tenaga listrik pada PT PLN (Persero) Jawa Bali. *SUTET*, 13(2), 128–146. <https://doi.org/10.33322/sutet.v13i2.1962>
- Akbar, L., Mafruhah, I., & Gravitiani, E. (2024). Determinants of variables that affect electrical energy consumption in Indonesia 2011–2020. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(1), 165–171. <https://doi.org/10.32479/ijeep.11069>
- Al Irsyad, M. I., Nepal, R., & Halog, A. (2018). Exploring drivers of sectoral electricity demand in Indonesia. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(9–10), 383–391. <https://doi.org/10.1080/15567249.2018.1538271>
- Alharbi, F. R., & Csala, D. (2022). A seasonal autoregressive integrated moving average with exogenous factors (SARIMAX) forecasting model-based time series approach. *Inventions*, 7(4), 94. <https://doi.org/10.3390/inventions7040094>
- Anggaini, D., Senen, A., & Dini, H. S. (2021). Proyeksi kebutuhan energi secara microspasial berdasarkan penentuan variabel independen dengan metode Kolmogorov-Smirnov. *KILAT*, 10(2), 349–358. <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i2.1401>
- Badan Pusat Statistik. (2012–2025). Produk Domestik Bruto sektoral atas dasar harga berlaku (triwulanan). Badan Pusat Statistik.
- Bahmanyar, A., Estebarsari, A., & Ernst, D. (2020). The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*, 68, 101683. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101683>
- Bank Indonesia. (2012–2025). Statistik ekonomi dan keuangan Indonesia. Bank Indonesia.
- Domarchi, C., & Cherchi, E. (2023). Electric vehicle forecasts: A review of models and methods including diffusion and substitution effects. *Transport Reviews*, 43(6), 1118–1143. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2195687>
- Elamin, N., & Fukushige, M. (2018). Modeling and forecasting hourly electricity demand by SARIMAX with interactions. *Energy*, 165(B), 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.157>
- Giannelos, S., Zhang, T., Pudjianto, D., Konstantelos, I., & Strbac, G. (2024). Investments in electricity distribution grids: Strategic versus incremental planning. *Energies*, 17(11), 2724. <https://doi.org/10.3390/en17112724>
- Hutama, A. H., Akbar, S., & Candra, M. Z. C. (2018). Medium term power load forecasting for Java and Bali power system using artificial neural network and SARIMAX. *Proceedings of the 2018 5th International Conference on*

- Data and Software Engineering (ICoDSE).
<https://doi.org/10.1109/ICODSE.2018.8705837>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts.
- Javanmard, M. E., & Ghaderi, S. F. (2023). Energy demand forecasting in seven sectors by an optimization model based on machine learning algorithms. *Sustainable Cities and Society*, 95, 104623. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104623>
- Khuntia, S. R., Rueda, J. L., & van der Meijden, M. A. M. M. (2016). Forecasting the load of electrical power systems in mid- and long-term horizons: A review. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10(16), 3971–3977. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.0340>
- Kim, J. H. (2019). Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean Journal of Anesthesiology*, 72(6), 558–569. <https://doi.org/10.4097/kja.19087>
- Mado, I., Budiman, A., & Triwiyatno, A. (2023). Short-term forecasting daily electricity loads using seasonal ARIMA patterns of generation units at PT. PLN (Persero) Tarakan City. *Jurnal Ilmiah Kursor*, 12(2), 91–100. <https://doi.org/10.21107/kursor.v12i2.348>
- McNeil, M. A., Karali, N., & Letschert, V. (2019). Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency. *Energy for Sustainable Development*, 49, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.01.001>
- Mosley, L., Eckley, I. A., & Gibberd, A. (2022). Sparse temporal disaggregation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 185(4), 2203–2233. <https://doi.org/10.1111/rssa.12952>
- Nainggolan, J. (2022). Estimation of the price and income elasticities of residential electricity demand in Indonesia using household-level data. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 30(2), 131–148. <https://doi.org/10.14203/JEP.30.2.2022.131-148>
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez-Braza, A., & Sánchez-Rivas, J. (2017). Relationships between hotel and restaurant electricity consumption and tourism in 11 European Union countries. *Sustainability*, 9(11), 2109. <https://doi.org/10.3390/su9112109>
- Prabowo, E., Hariyanto, A., & Purwoko, W. S. (2019). Analisis penurunan biaya pokok penyediaan tenaga listrik Belawan dengan repowering PLTU Belawan 4x65 MW menjadi PLTGU 500–600 MW. *SUTET*, 8(1), 54–60. <https://doi.org/10.33322/sutet.v8i1.716>
- PT PLN (Persero). (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021–2030*. PT PLN (Persero).
- PT PLN (Persero). (2025a). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2025–2034*. PT PLN (Persero).
- PT PLN (Persero). (2025b). *Statistik PLN 2025*. PT PLN (Persero).

- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Senen, A. (2020). Pengembangan metodologi prakiraan beban listrik sektoral secara mikroskopial. *KILAT*, 9(2), 234–243. <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i2.1016>
- Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2025). *Time series analysis and its applications: With R examples* (5th ed.). Springer.
- Tasia Sapta, L., Junaidi, & Umiyati, E. (2024). Determinants of electricity demand in the industrial and commercial sector in Indonesia. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 19(1). <https://doi.org/10.22437/jpe.v19i1.34640>
- Thorbecke, W. (2021). The weak rupiah: Catching the tailwinds and avoiding the shoals. *Journal of Social and Economic Development*, 23(3), 521–539. <https://doi.org/10.1007/s40847-020-00111-3>